

①9 RÉPUBLIQUE FRANÇAISE  
INSTITUT NATIONAL  
DE LA PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE  
PARIS

①1 N° de publication :  
(à n'utiliser que pour les  
commandes de reproduction)

**2 581 798**

②1 N° d'enregistrement national :

**85 07130**

⑤1 Int Cl<sup>4</sup> : H 01 Q 1/00, 3/00.

①2

## DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②2 Date de dépôt : 10 mai 1985.

③0 Priorité :

④3 Date de la mise à disposition du public de la  
demande : BOPI « Brevets » n° 46 du 14 novembre 1986.

⑥0 Références à d'autres documents nationaux appa-  
rentés :

⑦1 Demandeur(s) : *ALCATEL THOMSON FAISCEAU*  
*HERTZIENS, société anonyme. — FR.*

⑦2 Inventeur(s) : Gérard Barue et Rémi Clausner.

⑦3 Titulaire(s) :

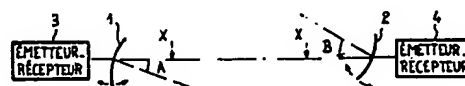
⑦4 Mandataire(s) : Jacques Wind, SOSPI.

⑤4 Procédé de pointage azimutal des antennes d'une liaison troposphérique.

⑤7 Le procédé est destiné à permettre le pointage en évitant les relevés topographiques précis et en s'affranchissant des perturbations aléatoires ainsi que des phénomènes inhérents au mode de propagation troposphérique.

Pour cela, dans une première étape, les deux antennes effectuent des balayages, à des vitesses différentes, autour de positions de départ déterminées grossièrement, jusqu'à atteindre une position de capture  $\theta_c$ ,  $\theta'_c$ . Cette étape est immédiatement suivie, pour une antenne à gain inférieur à environ 45 dB, par un réglage par approximations successives qui consiste à rechercher alternativement, avec chaque antenne, une position de réception maximale de l'autre antenne tandis que, pour une antenne à fort gain, il est effectué un ensemble de mesures pour déterminer les positions de réception maximales de l'une 1 des deux antennes, pour différentes positions imposées à l'autre antenne 2 et, à l'aide d'une interpolation sur les résultats obtenus, en déduire une position  $\theta_p$ ,  $\theta'_p$ , pour chacune des deux antennes, favorable à un réglage éventuel par approximations successives.

Application, en particulier, aux liaisons mobiles.



Procédé de pointage azimutal des antennes  
d'une liaison troposphérique.

La présente invention concerne un procédé de pointage azimutal pour établir une liaison troposphérique à l'aide de deux antennes.

Lorsque deux équipes, chacune affectée à une antenne, veulent établir une liaison troposphérique entre leurs antennes, il est connu de  
5 procéder comme suit : chaque équipe effectue un relevé topographique précis de la position de son antenne, entre en liaison avec l'autre équipe pour connaître la position de l'autre antenne, puis effectue un réglage de l'orientation de son antenne. Il est à noter que, dans la mesure où le pointage des deux antennes est très précis, la liaison n'a pas à être  
10 retouchée pour améliorer la réception ; avec les antennes habituellement utilisées et compte tenu des distances les séparant, cela nécessite une précision de pointage de l'ordre de quelques dixièmes de degré. Si la précision du pointage n'est pas aussi grande, c'est-à-dire, en général, si elle n'est que de l'ordre du degré, il est connu d'améliorer le réglage en  
15 recherchant alternativement avec l'une et l'autre antenne un maximum de réception ; mais la méthode classique employée nécessite une liaison de référence établie avec deux antennes situées respectivement à côté des deux antennes de la liaison à améliorer afin de faire une recherche de maximum par une mesure différentielle entre les signaux reçus par celles  
20 des deux antennes voisines qui sont en réception ; ceci permet d'éviter d'être gêné par les fluctuations aléatoires, au cours du temps, de l'amplitude du signal reçu.

Ce procédé connu nécessite la présence, dans chaque équipe, d'un topographe avec des moyens de repérage précis ; de plus, que le réglage  
25 topographique soit effectué avec une grande précision ou qu'il ait besoin d'être suivi par une recherche de position optimale à la réception, l'exécution de ce procédé est longue. Il est de plus à noter que, dans le cas où une recherche de position optimale doit être effectuée, d'une part la liaison de référence peut représenter un lourd handicap financier

puisque'elle nécessite une seconde antenne alors que l'on s'oriente vers des systèmes à configuration d'antenne unique, et d'autre part, comme il sera vu par la suite, il n'est pas sûr d'avoir ainsi la liaison optimale mais simplement un maximum de réception qui est fonction de l'orientation des  
5 antennes à cause de l'effet de directivité transversale inhérent au mode de propagation par diffusion troposphérique.

La présente invention a pour but d'éviter ou, pour le moins, de réduire les inconvénients mentionnés ci-avant.

Ceci est obtenu, en particulier, en donnant aux deux antennes  
10 d'une liaison à établir, une position initiale déterminée de façon grossière, c'est-à-dire, par exemple, une position telle que la direction de pointage azimutal de l'antenne pourra faire un angle de  $\pm 30^\circ$  avec la direction correcte; les deux antennes travaillant en émission et en réception effectuent alors des balayages, à des vitesses différentes l'une de l'autre,  
15 jusqu'à atteindre une position de capture c'est-à-dire une position leur permettant de communiquer entre elles. A partir de cette position de capture n'ayant pas nécessité un travail topographique précis, l'amélioration du pointage peut alors être obtenue selon la méthode classique nécessitant une liaison de référence ou selon des méthodes qui seront  
20 précisées plus loin et qui ne nécessitent pas de liaison de référence.

Selon l'invention un procédé de pointage azimutal de deux antennes à relier par une liaison troposphérique, est caractérisé en ce que, après avoir pointé grossièrement les deux antennes selon des directions de départ pouvant être décalées, par rapport à la position de pointage exacte  
25 de  $\pm P$  (où  $P$  est un angle estimé, compris entre une dizaine de degrés et  $180^\circ$ ), il consiste à faire effectuer aux deux antennes des balayages automatiques, autour de leur position de départ, à des vitesses différentes, avec une amplitude  $P + a$ , de part et d'autre de la position de départ ( $a$ : angle donné, de l'ordre de quelques degrés) et à arrêter les  
30 balayages automatiques dès que le contact est établi, les antennes étant alors respectivement dans les positions azimutales de capture  $\theta_c$  et  $\theta'_c$ , puis à optimiser automatiquement le pointage en azimut des antennes.

La présente invention sera mieux comprise et d'autres caractéristiques apparaîtront à l'aide de la description ci-après et des revendications s'y rapportant qui représentent :

- la figure 1, un schéma relatif à une première étape du procédé de pointage selon l'invention,
- les figures 2a et 2f des schémas illustrant une partie du procédé selon l'invention, qui sera appelé réglage par approximations successives,
- la figure 3 un diagramme relatif au réglage selon la figure 2a,
- les figures 4a et 4b des schémas relatifs à la fin d'un réglage par approximations successives,
- la figure 5, un diagramme relatif à une antenne à grand gain,
- les figures 6a à 6i, des schémas illustrant une partie du procédé selon l'invention, qui sera appelé réglage par exploration systématique,
- la figure 7, un schéma relatif à des moyens de mise en oeuvre du procédé selon l'invention.

Sur les différentes figures les éléments correspondants sont désignés par les mêmes repères.

Dans la description qui va suivre il sera question de pertes de déflexion azimutale et de pertes de déflexion transversale. Par pertes de déflexion azimutale il faut entendre, par rapport à l'énergie qui serait reçue si les deux antennes d'une liaison hertzienne étaient parfaitement pointées, les pertes dues au fait qu'une, et une seule, des deux antennes n'est pas correctement réglée en azimut. Par pertes de déflexion transversale il faut entendre, par rapport toujours à l'énergie qui serait reçue si les deux antennes d'une liaison hertzienne étaient parfaitement pointées, les pertes dues au fait que les deux antennes sont pointées en azimut sur un volume commun décalé par rapport au volume commun correspondant à un pointage parfait selon l'arc de grand cercle passant par les deux antennes.

La figure 1 est relative au procédé de réglage selon l'invention. Deux antennes 1, 2, avec chacune un émetteur-récepteur associé 3, 4, sont situées à plusieurs dizaines ou centaines de kilomètres l'une de l'autre. Le problème à résoudre est d'effectuer le pointage précis de ces deux antennes. Le réglage en site se fait de manière classique, à partir de tableaux de valeurs ou de graphiques qui donnent l'angle de site en fonction de l'altitude de l'antenne, de l'altitude de l'horizon, de la distance

à l'horizon et du rayon terrestre équivalent qui est fonction du climat de la région où se trouve l'antenne ; ce réglage en site étant connu et ne posant pas de problèmes, il n'en sera plus question dans ce qui suit et les antennes seront supposées avoir été réglées en site préalablement à leur  
5 réglage en azimut, étant entendu que, si nécessaire, le réglage en site pourra être repris en cours d'opération pour tenir compte, par exemple, d'une distance à l'horizon différente de celle qui avait été initialement considérée.

Le réglage qui est décrit à l'aide de la figure 1, est à comparer,  
10 pour ses résultats, à ceux des réglages par procédé topographique qui doivent être améliorés par une recherche de position optimale de réception et dont il a été question plus avant ; il s'agit donc dans les deux cas de ce que l'on peut appeler des préréglages. Pour établir la liaison avec un correspondant il est nécessaire, comme avec les procédés de réglage  
15 connus, de connaître les fréquences de travail et la position de ce correspondant ainsi que le moment où lui aussi cherchera à établir la liaison ; mais l'avantage du procédé illustré par la figure 1 réside dans le fait qu'il est inutile de connaître sa propre position et celle de son correspondant avec précision. En effet il suffit d'être capable, au départ,  
20 de situer le correspondant dans un angle d'une soixantaine de degrés, étant entendu que, si l'estimation est meilleure et atteint par exemple une vingtaine de degrés, la suite des opérations de pointage sera facilitée tandis que, si l'estimation est moins bonne et, même, atteint  $360^\circ$ , la suite des opérations de pointage prendra plus de temps.

25 Les deux antennes 1 et 2 sont donc orientées en azimut suivant des directions de départ qui, dans les cas concrets d'expérimentation ayant servi à la présente description, étaient estimées faire respectivement, avec l'arc de grand cercle terrestre XX passant par les deux antennes, des angles A et B au plus égaux à  $\pm 30^\circ$ .

30 Après que les antennes 1 et 2 aient été grossièrement placées en une position de départ et contrairement au préjugé qui veut qu'une antenne de faisceau hertzien soit utilisée en position fixe, surtout en émission, avec éventuellement des changements d'orientation discontinus, les deux antennes sont mises en recherche automatique et sont animées  
35 pour cela d'un mouvement de balayage continu en azimut de part et

d'autre de leur direction de départ (deux flèches de part et d'autre de chaque antenne symbolisent ce balayage); chaque balayage est effectué dans un secteur angulaire de  $\pm (P+a)$  degrés, où P est la valeur maximale estimée de A et de B et peut donc être différente pour les deux antennes et où a est de l'ordre de quelques degrés. Dans un des exemples de réalisation étudiés P + a était pris égal à 35 degrés pour chacune des antennes (ce qui fait un secteur de balayage de 70 degrés) et les vitesses de balayage étaient de 0,1 degré par seconde pour l'antenne 1 et de 1 degré par seconde pour l'antenne 2; les antennes considérées étaient des antennes de trois mètres de diamètre et le temps de recherche, à partir d'un balayage commençant au même instant pour les deux antennes, était en moyenne de cinq minutes.

Dès réception par les deux antennes du champ radioélectrique de l'autre antenne, c'est-à-dire dès que la liaison est établie, les antennes cessent leur mouvement de balayage et restent sur la position atteinte, dite position de capture, afin de maintenir le contact. Dans chacune des deux stations relatives aux deux antennes 1 et 2 un organe de commande agit alors sur un organe d'asservissement en position, qui lui est associé, pour faire décrire à l'antenne des mouvements séquentiels imposés par un calculateur et qui sont destinés à optimiser le pointage de l'antenne.

La suite du procédé de pointage, comme il a été indiqué plus avant, est conçue de manière à éviter d'avoir recours à une liaison de référence et de manière à assurer une convergence vers la direction XX (voir figure 1).

Comme il sera vu plus loin, la recherche des positions à donner aux antennes sera faite à l'aide de mesures rapprochées dans le temps et dont les résultats seront combinés entre eux de manière à minimiser les influences des perturbations pouvant affecter la propagation.

Il est à noter que la mesure de la puissance reçue, à partir de la tension de commande automatique de gain, doit être faite, si possible, en diversité, c'est-à-dire en combinant les tensions de commande automatique de gain des récepteurs associés à l'antenne considérée; cela permet de réduire l'amplitude des fluctuations du signal obtenu tout en augmentant la vitesse de ces fluctuations. Le signal de mesure d'énergie,  $V_g$ , est donné par un circuit d'intégration à constante de temps T auquel est

appliqué le signal ou la somme des signaux de commande automatique de gain; l'addition de plusieurs tensions de commande pour obtenir  $V_g$  permet de réduire de manière importante cette constante de temps: en utilisant six tensions de commande automatique de gain, la constante de temps,  $T$ , était de 10 secondes dans les exemples décrits, alors qu'elle  
5 aurait été de l'ordre de 60 secondes avec une seule tension de commande automatique de gain.

Pour assurer la convergence du réglage vers la direction XX (figure 1) de l'arc de grand cercle terrestre passant par les deux antennes, une phase de réglage, conçue pour les antennes à grand gain et appelée  
10 "pointage par exploration systématique", est prévue car ces antennes peuvent poser des problèmes de convergence avec le "pointage par approximations successives" qui est utilisable pour les antennes à gain faible et moyen et qui ne peut être utilisé en toute sécurité pour les  
15 antennes à fort gain qu'après amélioration préliminaire de leur réglage grâce à un pointage par exploration systématique.

En effet le critère de convergence sur l'azimut correct est que les pertes de déflexion azimutale soient inférieures aux pertes de déflexion transversale; or il s'est avéré que, dans les différentes conditions  
20 rencontrées lors des essais, la méthode de pointage par approximations successives qui s'inspire des méthodes classiques de pointage radioélectrique, ne convient pas pour, juste après avoir atteint la position de capture, effectuer un réglage convergent lorsque le gain des antennes dépasse  
45 dB ce qui correspond, par exemple, à des antennes d'un diamètre de l'ordre de 5 mètres et plus, travaillant dans la bande 4,4-5GHz; ce sont de  
25 telles antennes qui, dans cette description, sont appelées antennes à grand gain.

Dans ce qui suit, seront exposées successivement deux façons de procéder pour, après la capture, continuer le réglage automatique des  
30 antennes: d'abord pour régler les antennes à gain faible et moyen à l'aide d'un pointage par approximations successives, puis pour commencer à régler des antennes à fort gain à l'aide d'un pointage par exploration systématique et parachever leur réglage par un pointage par approximations successives. Il est à noter d'ailleurs que le pointage par exploration  
35 systématique peut d'une part être le réglage final d'une antenne à grand

gain, c'est-à-dire ne pas être suivi d'un pointage par approximations successives, et d'autre part peut être appliqué aux antennes à gain faible ou moyen.

Le pointage par approximations comporte une succession de sé-  
 5 quences de relevés de la puissance reçue (tension  $V_g$  de commande automatique de gain) pour différentes positions de l'antenne en azimut (données par des capteurs angulaires), ces relevés étant effectués alternativement dans l'une et l'autre station de la liaison, l'antenne émission demeurant fixe.

10 Chaque séquence comporte, pour chaque station, la mesure d'un couple de valeurs de la tension  $V_g$  de part et d'autre d'une position d'origine. Le nombre de séquences sera généralement de 3 à 5. Au départ d'un pointage par approximations successives les antennes sont en position  $\theta_c$ ,  $\theta'_c$  ( $\theta_c$ ,  $\theta'_c$  : angles d'azimut lors de la capture); ces positions sont les  
 15 positions d'origine de la première séquence. L'antenne 2 (figure 2a) passe de la position  $\theta_c$  à une position  $\theta_1$  en décrivant un angle  $-d\theta$ . La valeur  $d\theta$  reste fixe pendant les séquences successives. Cette valeur  $d\theta$  est choisie en fonction des caractéristiques du diagramme de rayonnement de l'antenne : par exemple  $d\theta = 1,5^\circ$  pour une antenne de 3 m de diamètre  
 20 travaillant dans la bande de fréquences 4,4-5GHz.

La position  $\theta_1$  étant atteinte, la valeur  $V_1$  de la tension  $V_g$  est mesurée au bout d'un temps  $t = 3T$ , où  $T$  est la constante de temps dont il a été question plus avant. Puis l'antenne 1 effectue un déplacement angulaire de  $+2.d\theta$  pour passer de la position  $\theta_1$  à une position  $\theta_2$  et la  
 25 valeur  $V_2$  de la tension  $V_g$  est mesurée au bout d'un temps  $t = 3T$ .

La figure 3 est un graphique représentatif de la variation de la valeur  $V_g$  (exprimée en dBm) en fonction de l'angle  $\theta$  qu'occupe, en azimut, l'antenne 1 et ceci pour une position donnée de l'antenne 2. Sur ce graphique plusieurs points sont particulièrement intéressants, il s'agit du  
 30 point de la position de capture dont l'abscisse est  $\theta_c$ , des points de coordonnées  $(\theta_1, V_1)$  et  $(\theta_2, V_2)$  dont il a été question au paragraphe précédent, du point d'ordonnée  $V_m$  constituant l'ordonnée maximale de la courbe " $V_g$  en fonction de  $\theta$ ", et d'un point d'abscisse  $\theta_{01}$  dont il va être question ci-après.

35 Les valeurs  $d\theta$ ,  $\theta_1$ ,  $V_1$ ,  $\theta_2$ ,  $V_2$  étant mises en mémoire par le



calculateur associé à la station de l'antenne 1, ce calculateur détermine la position  $\theta 01$ , qui est assignée à l'antenne 1, par la formule suivante

$$\theta 01 = \frac{\theta 2 + \theta 1}{2} + d\theta \frac{\|V2 - V1\|}{V} \quad (1)$$

où V est la valeur maximale que peut prendre Vm (caractéristique du diagramme de rayonnement qui est connue), également mise en mémoire, et où  $\|V2 - V1\|$  signifie que la valeur absolue de V2-V1 est multipliée par +1 si la pente de la droite reliant les points ( $\theta 1$ , V1), ( $\theta 2$ , V2) est positive et multipliée par -1 dans le cas contraire, ou, exprimé d'une autre façon, que  $\frac{V2 - V1}{\theta 2 - \theta 1}$  est la valeur absolue de (V2-V1) précédée du signe de  $\theta 2 - \theta 1$ .

Lors des opérations de passage de l'antenne 1 de la position  $\theta c$  à la position  $\theta 01$ , qui constituent la première partie de la première séquence de pointage illustrée par la figure 2a, les stations relatives aux antennes 1 et 2 étaient respectivement "maître" et esclave" puisque l'antenne 2, immobile en position de capture  $\theta'c$ , ne faisait que permettre le réglage de l'antenne 1. La seconde partie de la première séquence de pointage est illustrée par la figure 2b ; les opérations consistent à inverser les rôles des deux stations, l'antenne 1 restant fixe en position  $\theta 01$ , tandis que l'antenne 2 effectue successivement deux déplacements, l'un d'amplitude  $-d\theta$  qui l'amène de la position de capture  $\theta'c$  à la position  $\theta 1'$  où, au bout d'un temps  $3T$ , est mesurée la valeur V1' du signal Vg relatif à l'antenne 2 et l'autre d'amplitude  $+2d\theta$  qui l'amène de la position  $\theta 1'$  à la position  $\theta 2'$  où, au bout d'un temps  $3T$ , est mesurée la valeur V2'. L'antenne 2 est alors amenée dans la position définie par l'angle d'azimut

$$\theta 01' = \frac{\theta 2' + \theta 1'}{2} + d\theta \frac{\|V2' - V1'\|}{V}$$

la première séquence est ainsi terminée.

Une deuxième séquence, illustrée par les figures 2c, 2d, commence alors, semblable à la première mais à partir des positions d'origine  $\theta 01$  et  $\theta 01'$  ; cette deuxième séquence conduit aux positions  $\theta 02$  et  $\theta 02'$  pour les antennes 1 et 2. Une troisième séquence, illustrée par les figures 2e et 2f, conduit de la même façon, à partir des positions d'origine  $\theta 02$  et  $\theta 02'$ , à des positions  $\theta 03$  et  $\theta 03'$  pour les antennes 1 et 2.

Le procédé de pointage par approximations successives peut être

arrêté à ce stade ou poursuivi par quelques séquences supplémentaires ; dans le cas de l'exemple décrit il comportait deux autres séquences qui amenaient les antennes 1 et 2 respectivement dans les positions  $\theta 05$  et  $\theta 05'$  puis, toujours dans ce procédé de pointage par approximations successives, chaque antenne était soumise à une opération d'optimisation. Cette opération d'optimisation est illustrée par les figures 4a et 4b pour l'antenne 1. L'antenne 2 restant fixe, en position  $\theta 05'$ , l'antenne 1 effectue trois déplacements successifs M1, M2, M3, d'amplitudes respectives  $d\theta'$ ,  $-2.d\theta'$  et  $+2.d\theta'$  avec, dans l'exemple décrit,  $d\theta' = d\theta$ , ce qui conduit successivement aux positions  $\theta 15 = \theta 05 + d\theta$ ,  $\theta 25 = \theta 15 - 2.d\theta = \theta 05 - d\theta$  et  $\theta 35 = \theta 25 + 2.d\theta = \theta 05 + d\theta = \theta 15$  où sont mesurées, au bout de temps égaux à  $3T$ , les valeurs prises par  $V_g$  :  $V_{15}$ ,  $V_{25}$  et  $V_{35}$ . A partir des valeurs  $V_{15}$  et  $V_{25}$  est alors calculé un angle  $\theta 06$  en remplaçant, dans la formule (1),  $\theta 01$ ,  $\theta 1$ ,  $\theta 2$ ,  $V_1$   $V_2$  respectivement par  $\theta 06$ ,  $\theta 15$ ,  $\theta 25$ ,  $V_{15}$ ,  $V_{25}$  ; de même, à partir des valeurs  $V_{25}$  et  $V_{35}$  est calculé un angle  $\theta 07$  en remplaçant dans la formule (1),  $\theta 01$ ,  $\theta 1$ ,  $\theta 2$ ,  $V_1$ ,  $V_2$  respectivement par  $\theta 07$ ,  $\theta 25$ ,  $\theta 35$ ,  $V_{25}$ ,  $V_{35}$ . La position azimutale définie par l'angle  $\theta_f = \frac{\theta 06 + \theta 07}{2}$  est alors donnée comme position de réglage final en azimut de l'antenne 1.

L'optimisation de la position de l'antenne 2 s'effectue de la même façon : l'antenne 1 reste fixe, en position  $\theta_f$ , et l'antenne 2 effectue trois déplacements successifs d'amplitude  $d\theta$ ,  $-2.d\theta$  et  $2.d\theta$ , avec, dans chaque position atteinte, mesure du signal  $V_g$  pour permettre le calcul des angles  $\theta 06'$ ,  $\theta 07'$  et  $\theta_f'$ .

Pour ce qui est du pointage par exploration systématique, à partir des positions de capture, il comporte deux parties qui, comme il a été déjà indiqué peuvent être suivies d'une troisième partie constituée par un pointage par approximations successives. Le procédé de pointage par exploration systématique va être décrit dans le cas de deux antennes de 8 mètres de diamètre, fonctionnant dans la bande 4,5 - 5 GHz.

La première partie du pointage consiste, à partir des positions de capture  $\theta_c$  et  $\theta_c'$ , à donner à l'antenne 1 une position  $\theta 0$  qui corresponde à un écart en azimut par rapport à la direction correcte de pointage, sensiblement égal, au signe près, à l'écart de l'antenne 2 par rapport à cette direction correcte ce qui revient à rechercher un maximum de la tension  $V_g$ . Pour cela l'antenne 2 étant fixe, l'antenne 1 est amenée dans

les positions  $\theta_c + d\alpha$  puis  $\theta_c - d\alpha$  (avec dans l'exemple décrit  $d\alpha = d\theta = 0,5^\circ$ ) et, chaque fois, la tension  $V_g$  est mesurée, ce qui permet de déterminer un nouvel angle,  $\theta_a$ , pour l'antenne 1, donné par la formule déjà utilisée précédemment,  $\theta_a = \frac{\theta_2 + \theta_1}{2} + d\alpha \cdot \frac{\|V_2 - V_1\|}{V}$ . L'antenne 2

5 restant toujours dans la position  $\theta'_c$  un nouvel angle  $\theta_b$  est déterminé de la même façon à partir de déplacements autour de la position  $\theta_a$ , puis un nouvel angle,  $\theta_0$ , à partir de déplacements autour de la position  $\theta_b$ . Les antennes étant placées dans les positions  $\theta_0$ ,  $\theta'_c$ , la valeur  $V_0$  de la tension  $V_g$  est mesurée dans la station de l'antenne 1.

- 10 La figure 5 représente les diagrammes donnant le  $V_g$  de l'antenne 1, en fonction de  $\theta$ , pour différentes positions de l'antenne 2. Sur ce diagramme ont également été représentés le point de capture d'abscisse  $\theta_c$  et le point d'abscisse  $\theta_0$  auquel a amené la première partie du pointage.

Dans la deuxième partie du pointage la station de l'antenne 1

15 commande des déplacements,  $D$ , de l'antenne 2 de part et d'autre de la position  $\theta'_c$ , en prenant  $D$  égal à  $-k \cdot d\beta$  (passage de  $\theta'_c$  à  $\theta'_c - k \cdot d\beta$ ) avec  $k$  entier différent de zéro et, dans l'exemple décrit,  $d\beta = d\theta = 0,5^\circ$ . Pour ces positions attribuées à l'antenne 2, l'antenne 1 est amenée dans les positions  $\theta_0 + k \cdot d\beta + d\gamma$  et  $\theta_0 + k \cdot d\beta - d\gamma$  avec, dans l'exemple décrit,

20  $d\gamma = d\theta = 0,5^\circ$ ; un couple,  $V_{k1}$ ,  $V_{k2}$ , de valeurs de  $V_g$  est ainsi mesuré dans la station 1; de ce couple de valeurs est déduite une position angulaire  $\theta_k$  par la formule :

$$\begin{aligned} \theta_k &= \frac{\theta_0 - D + d\gamma + \theta_0 - D - d\gamma}{2} + d\gamma \frac{\|V_{k2} - V_{k1}\|}{V} \\ &= \theta_0 - D + d\gamma \cdot \frac{\|V_{k2} - V_{k1}\|}{V} \end{aligned}$$

- 25 Cette position obtenue par interpolation correspond sensiblement à celle où l'antenne 1 recevrait un maximum de champ de l'antenne 2 placée dans la position  $\theta'_c - k \cdot d\beta$ ; l'antenne 1 étant placée dans cette position  $\theta_k$  la valeur  $V_k$  de  $V_g$  est mesurée. Puis, pour tenir compte des variations dans le temps du champ reçu par l'antenne 1, les antennes 1 et 2 sont
- 30 respectivement replacées dans les positions  $\theta_0$  et  $\theta'_c$  et la valeur  $V_{0k}$  de  $V_g$  est mesurée; la valeur dont il est tenu compte pour la tension  $V_g$  est alors non pas la valeur  $V_k$  mais la valeur  $v_k = V_k - V_{0k} + v_0$ , où  $v_0 = V_0 - K$ ,  $V_0$  étant la valeur mesurée sur les positions d'origine  $\theta_0$  et  $\theta'_c$  dans la première partie du pointage et  $K$  une constante négative qui est,

de préférence, prise inférieure au seuil de sensibilité des récepteurs.

Les mesures sont réalisées en prenant successivement  $k = -1, -2, -3...$  puis  $k = +1, +2, +3...$  jusqu'à avoir  $v_k < v_0$  d'au moins 2dB, de manière à donner une certaine symétrie aux résultats obtenus; dans l'exemple décrit, cela limite à  $k = -1$  et  $k = +5$ .

En appelant  $i$  le rang des mesures des maximums, effectuées dans cette deuxième partie, les résultats obtenus sont les suivants :

pour  $i = 0$ , soit  $k = 0$ ,  $\theta_i = -05^\circ$ ,  $V_i = -79\text{dBm}$ ,  $v_i = 41$ ,  $\theta_i.v_i = -20,5$   
 pour  $i = 1$ , soit  $k = -1$ ,  $\theta_i = -0,75^\circ$ ,  $V_i = -82,5\text{dBm}$ ,  $V_{0i} = -78\text{dBm}$ ,  
 10  $v_i = 36,5$ ,  $\theta_i.v_i = -27,4$   
 pour  $i = 2$ , soit  $k = +1$ ,  $\theta_i = 0^\circ$ ,  $V_i = -74\text{dBm}$ ,  $V_{0i} = -80\text{dBm}$ ,  $v_i = 47$ ,  
 $\theta_i.v_i = 0$   
 pour  $i = 3$ , soit  $k = +2$ ,  $\theta_i = 0,4^\circ$ ,  $V_i = -68\text{dBm}$ ,  $V_{0i} = -78\text{dBm}$ ,  $v_i = 51$ ,  
 $\theta_i.v_i = 20,4$   
 15 pour  $i = 4$ , soit  $k = +3$ ,  $\theta_i = 0,75^\circ$ ,  $V_i = -72\text{dBm}$ ,  $V_{0i} = -78\text{dBm}$ ,  $v_i = 47$ ,  
 $\theta_i.v_i = 35,2$   
 pour  $i = 5$ , soit  $k = +4$ ,  $\theta_i = 1^\circ$ ,  $V_i = -78\text{dBm}$ ,  $V_{0i} = -77,5\text{dBm}$ ,  $v_i = 40,5$ ,  
 $\theta_i.v_i = 40,5$   
 pour  $i = 6$ , soit  $k = +5$ ,  $\theta_i = 1,75^\circ$ ,  $V_i = -85\text{dBm}$ ,  $V_{0i} = -77,5\text{dBm}$ ,  $v_i = 33,5$ ,  
 20  $\theta_i.v_i = 58,5$ ,  
 et l'azimut optimal  $\theta_p$  est défini, par interpolation, grâce à la formule :

$$\theta_p = \frac{\sum_{i=0}^n \theta_i.v_i}{\sum_{i=0}^n v_i}$$

Dans l'exemple décrit  $K$  est prise égale à  $-120\text{dBm}$ , ce qui donne  
 $\theta_p = \frac{106,7}{296,5} = 0,36^\circ$ ; il est à noter qu'en prenant  $K = 0$  et en remplaçant  $v_i$   
 25 par  $V_i$ , la formule donne  $\theta_p = \frac{-210}{-538,5} = 0,39^\circ$ , ce qui montre que le  
 choix de  $K$  n'est pas crucial et que l'on peut éviter le retour systématique  
 sur les positions d'origine lorsque la propagation n'est pas trop fluctuante.

Les figures 6a à 6i illustrent les deux premières parties du

procédé de pointage par exploration systématique.

Après la capture (angle  $\theta_c$  et  $\theta'_c$ , figure 6a) la mesure par trois couples successifs de valeurs de  $V_g$  permet de définir l'angle  $\theta_0$  sensiblement égal à  $-\theta'_c$  (figure 6b) et de mesurer alors la valeur  $V_0$  de  $V_g$ .

5 Puis l'antenne 2 étant déplacée de  $\theta'_c$  à  $\theta'_c - kd\beta$  (avec  $k = -1$ ), l'antenne 1 est placée dans les positions  $\theta_0 + kd\beta + d\gamma$  et  $\theta_0 + kd\beta - d\gamma$  où sont mesurées les valeurs prises par la tension  $V_g$  (figure 6c); une position  $\theta_i = \theta_l$  est calculée à l'aide des résultats de ces mesures, l'antenne 1 est placée dans cette position (figure 6c) et la valeur  $V_1$  de la tension  $V_g$  est  
10 mesurée; après ces mesures un retour aux positions de référence  $\theta_0$ ,  $\theta'_c$ , où est mesurée  $V_{01}$  (figure 6d) permet de tenir compte des fluctuations possibles du champ reçu, pour déterminer une valeur  $v_i = v_l$  qui est obtenue par correction de la valeur  $V_1$  par la formule  $v_l = V_1 - V_{01} + v_0$  avec  $v_0 = V_0 - K$ .

15 Les mêmes opérations qu'au paragraphe précédent sont reprises, avec  $k = -2, -3...$  puis  $k = 1, 2, 3...$ , du moins tant que  $V_i$  n'est pas inférieur à  $V_0 - 2\text{dBm}$  ce qui, dans l'exemple décrit, se produit dès  $k = -1$ , si bien que, après  $k = -1$ , la valeur de  $k$  est prise égale à  $+1, +2...$ . Les figures 6e et 6f se rapportent au cas où  $k = 1$  et  $i = 2$ , tandis que les  
20 figures 6g et 6h se rapportent à une généralisation avec  $k$  et  $i$  non précisés.

Quand l'azimut optimal  $\theta_p$  est trouvé pour l'antenne 1, l'antenne 1 communique à l'antenne 2 les angles  $\theta_p$  et  $\theta_0$  et cette dernière se place en position  $\theta'_p = \theta'_c - (\theta_p - \theta_0)$  comme indiqué sur la figure 6i. Le pointage  
25 peut alors être arrêté mais il est préférable de l'améliorer selon la méthode par approximations successives. Dans l'exemple décrit il est prévu de le poursuivre par trois séquences de pointage (voir les trois séquences des figures 2a et 2f, en remplaçant  $\theta_c$  et  $\theta'_c$  par  $\theta_p$  et  $\theta'_p$ ) suivies d'une phase d'optimisation pour chacune des antennes (voir les  
30 figures 4a et 4b pour l'antenne 1 en remplaçant le 005 par le 003 de la figure 2f).

Il est à noter que les opérations illustrées par les figures 6a à 6i peuvent, en variante, s'effectuer en déplaçant l'antenne 1 de valeurs  $k.d\beta$  à partir de la position initiale  $\theta_0$ ; la recherche de la réception maximale  
35 s'effectue alors avec l'antenne 2; ceci conduit à déterminer, de la même

façon, par interpolation, un angle  $\theta'p$  pour l'antenne 2 et d'en déduire, pour l'antenne 1, un angle  $\theta_p$  tel que  $\theta_p = 90 - (\theta'p - \theta'c)$ .

La figure 7 est un schéma sur lequel ne sont figurés que les éléments de la station de l'antenne 1 nécessaires au pointage de l'antenne 1 sur l'antenne 2, non représentée, selon la description ci-avant. Un calculateur 7 reçoit les différents renseignements relatifs au pointage, à savoir :

- un ensemble de signaux, Do, définissant les opérations à effectuer, en particulier : angle de balayage pour la capture, nombre de séquences pour un pointage par approximations successives, valeur V relative à l'antenne, angles de déplacement de l'antenne,
- le signal Vg obtenu, comme il a été vu, par intégration des tensions de commande automatique de gain : circuit intégrateur 15 dont l'entrée est reliée aux circuits de réception, 12, de la station et dont la sortie est couplée par un convertisseur analogique-numérique, 5, au calculateur 7,
- le signal fourni par un convertisseur analogique-numérique 6 et provenant d'un capteur 16, ce capteur étant couplé à l'antenne 1 pour en mesurer la position azimutale,
- un signal Dp, de commande de démarrage d'un processus de pointage,
- un signal de capture, Cr, fourni par les circuits d'asservissement 13 du gain des amplificateurs des circuits de réception, 12,
- les signaux de commande Cd reçus de l'antenne 2, principalement lorsque, pendant un pointage, l'antenne 2 fonctionne en maître et l'antenne 1 en esclave.

En fonction des signaux qu'il reçoit le calculateur 7 émet deux sortes de signaux :

- un signal Mv pour commander, grâce à des circuits d'asservissement 17, des vérins d'azimut 10, ces vérins assurant le réglage de la position azimutale de l'antenne 1,
- des signaux de commande fournis aux circuits d'émission, 11, de l'antenne 1 et destinés à être transmis à l'antenne 2, principalement lorsque, pendant un pointage, l'antenne 1 fonctionne en maître et l'antenne 2 en esclave.

## REVENDEICATIONS

1. Procédé de pointage azimutal de deux antennes à relier par une liaison troposphérique, caractérisé en ce que, après avoir pointé grossièrement les deux antennes (1, 2) selon des directions de départ (A, B) pouvant être décalées, par rapport à la position de pointage exacte de  $\pm P$  (où P est un angle estimé, compris entre une dizaine de degrés et  $180^\circ$ ), il consiste à faire effectuer aux deux antennes des balayages automatiques, autour de leur position de départ, à des vitesses différentes, avec une amplitude  $P + a$ , de part et d'autre de la position de départ ( $a$  : angle donné, de l'ordre de quelques degrés) et à arrêter les balayages automatiques dès que le contact est établi, les antennes (1, 2) étant alors respectivement dans les positions azimutales de capture  $\theta_c$  et  $\theta'_c$ , puis à optimiser automatiquement le pointage en azimut des antennes.

2. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que, après que le contact ait été établi, un réglage par approximations successives est entrepris, ce réglage comportant un nombre  $n$  de séquences successives ( $n$  entier au moins égal à 1) avec chacune : une première partie où une (2) des deux antennes restant fixe et l'autre (1) se déplaçant en azimut de  $-d\theta$  puis de  $+2d\theta$  pour atteindre les positions  $\theta_j$  et  $\theta_{j+1}$ , une valeur  $V_g$  des champs, provenant de l'antenne fixe (2) et reçus par l'antenne (1) qui s'est déplacée est mesurée dans les positions  $\theta_j$  et  $\theta_{j+1}$  et une position  $\theta_{0j} = \frac{\theta_j + \theta_{j+1}}{2} + d\theta \frac{\|V_{j+1} - V_j\|}{V}$  est affectée à l'antenne (1) qui s'est déplacée (avec  $V$  = constante prédéterminée,  $V_j$  et  $V_{j+1}$  valeurs de  $V_g$  pour  $\theta_j$  et  $\theta_{j+1}$  et  $\|V_{j+1} - V_j\|$  = valeur absolue de  $V_{j+1} - V_j$  précédée du signe de  $\frac{V_{j+1} - V_j}{\theta_{j+1} - \theta_j}$ ) ; et une seconde partie où, à partir des positions atteintes par les deux antennes (1, 2), les opérations de la première partie sont recommencées mais en inversant le rôle de ces deux antennes (1, 2).

3. Procédé selon la revendication 2, caractérisé en ce que, lors du réglage par approximations successives, après les  $n$  séquences, une optimisation est entreprise, cette optimisation consistant, successivement, à garder une antenne fixe (2) et à déplacer l'autre (1) de  $d\theta'$ ,  $-2d\theta'$ ,  $+2d\theta'$  pour atteindre les positions  $\theta_a$ ,  $\theta_b$ ,  $\theta_c = \theta_a$  et mesurer dans ces positions

des valeurs  $V_a$ ,  $V_b$ ,  $V_c$  des champs reçus, de l'antenne fixe (2), par l'antenne (1) qui s'est déplacée afin d'affecter à l'antenne (1) qui s'est déplacée une position  $\theta_f = \frac{\theta_a + \theta_b}{2} + d\theta \cdot \frac{\|V_b - V_a\| + \|V_c - V_b\|}{2V}$  et à la garder dans cette dernière position afin d'intervertir les rôles de ces deux antennes et de pouvoir déterminer de la même façon une position  $\theta_f'$  pour l'antenne qui était fixe au début de cette optimisation.

4. Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que, juste après que le contact ait été établi, un réglage par exploration systématique est entrepris qui comporte : un réglage de symétrie consistant à maintenir fixe une des antennes (2) dans sa position de capture,  $\theta^c$ , et à rechercher la position  $\theta_0$  de l'autre antenne (1) pour laquelle le champ reçu de l'antenne fixe est sensiblement maximal, les deux antennes étant dites en position initiale quand la position  $\theta_0$  est trouvée ; une recherche systématique des positions  $\theta_k$  que doit occuper une première (1) des deux antennes pour que le champ, qu'elle reçoit de la seconde (2) des deux antennes écartée de sa position initiale de  $-k.d\beta$  ( $k$  : entier pouvant prendre différentes valeurs autour de zéro ;  $d\beta$  angle d'azimut donné), soit sensiblement maximal ; une détermination, par interpolation, à partir des résultats de la recherche systématique, d'une nouvelle position azimutale  $\theta_p$ , pour la première antenne (1) et un réglage de la seconde antenne (2) sur une position  $\theta^p$  telle que, pour les deux antennes, la différence angulaire entre leurs positions initiales et leurs positions  $\theta_p$ ,  $\theta^p$  respectives soient de même amplitude et de signes contraires.

5. Procédé selon la revendication 2, caractérisé en ce qu'il comporte, après que le contact ait été établi et avant le réglage par approximations successives, un réglage par exploration systématique selon la revendication 4.

6. Procédé selon la revendication 4, caractérisé en ce que le réglage de symétrie comporte un processus qui consiste à maintenir une (2) des deux antennes fixe et à déplacer l'autre (1) de  $+d\alpha$  et  $-d\alpha$  ( $d\alpha$  : angle donné) de part et d'autre de sa position lors de la capture pour atteindre des positions  $\theta_1$ ,  $\theta_2$  et mesurer, dans ces positions, les valeurs  $V_1$ ,  $V_2$  du champ reçu, de l'antenne fixe (2), par l'antenne qui s'est déplacée (1), afin d'affecter à l'antenne qui s'est déplacée (1) une position  $\theta_a = \frac{\theta_1 + \theta_2}{2} + d\alpha \cdot \frac{\|V_2 - V_1\|}{V}$  (avec  $V =$  constante prédéterminée et

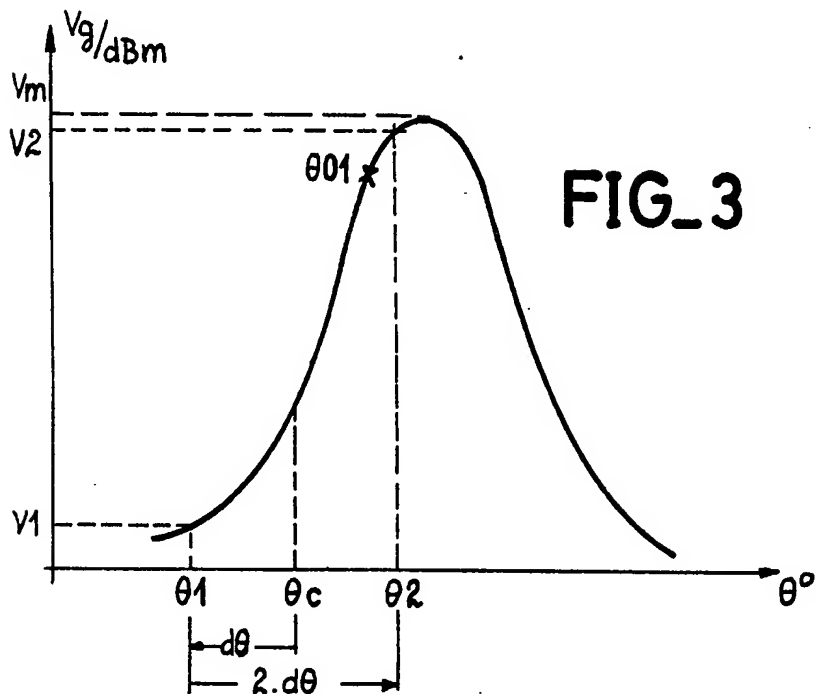
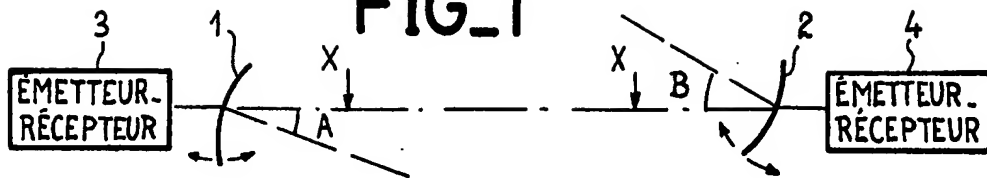


$\|V_2 - V_1\|$  = valeur absolue de  $V_2 - V_1$  précédée du signe de  $\frac{V_2 - V_1}{\theta_2 - \theta_1}$ , ce processus étant renouvelé  $n$  fois ( $n$  entier supérieur à  $-1$ ), en remplaçant à chaque fois, pour l'antenne qui se déplace (1), la position de capture par la dernière position affectée à cette antenne (1).

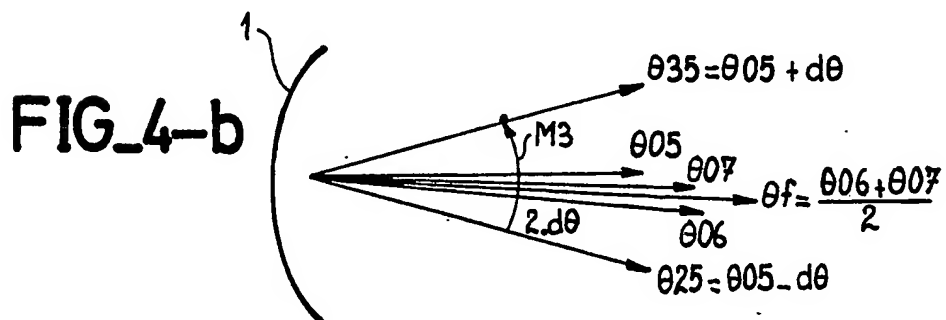
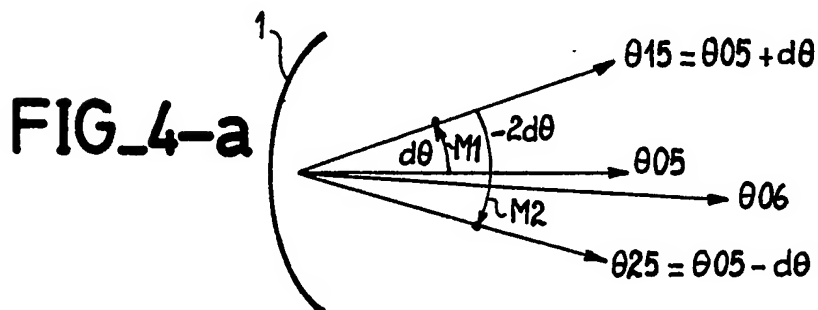
- 5            7. Procédé selon la revendication 4, caractérisé en ce que, lors de la recherche systématique de chaque position  $\theta_k$ , il est effectué un retour sur les positions  $\theta_0$  et  $\theta'_c$  afin de mesurer la valeur  $V_{0k}$  du champ reçu par la première antenne (1) et provenant de la seconde (2) et de corriger la valeur  $V_k$  mesurée sur les positions  $\theta_k$  et  $\theta'_c - k.d \beta$  de la variation
- 10  $V_{0k} - V_0$  où  $V_0$  est la valeur, à la fin du réglage de symétrie, du champ reçu par la première antenne (1) et provenant de la seconde (2), pour obtenir  $v_k = V_k - V_{0k} + V_0 - K$ , avec  $K \leq 0$ .

1/5

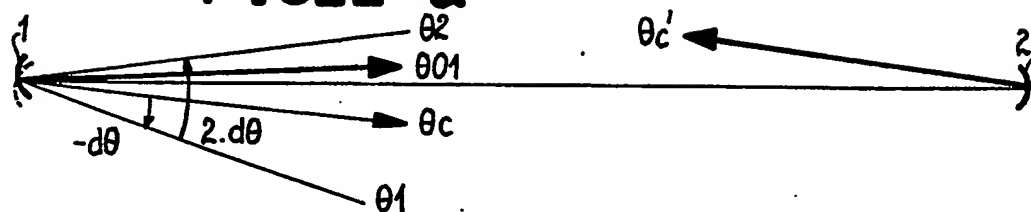
FIG\_1



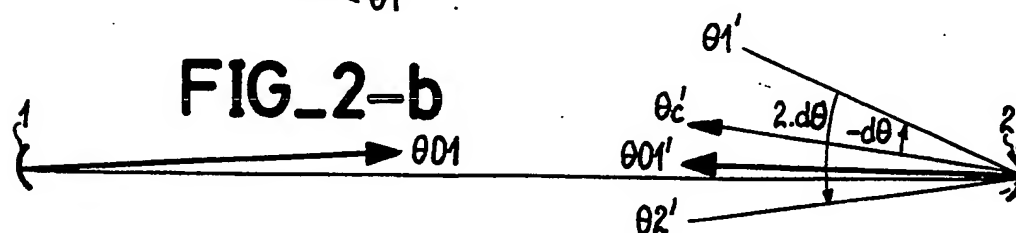
FIG\_3



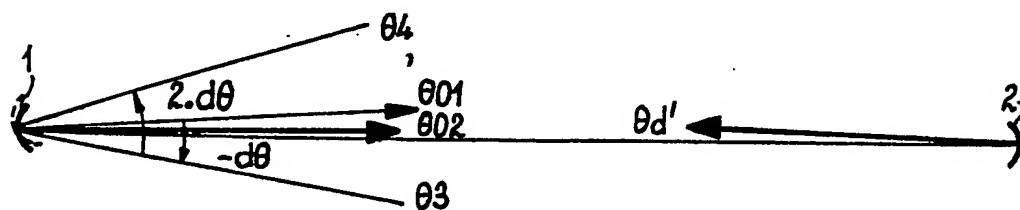
**FIG\_2-a**



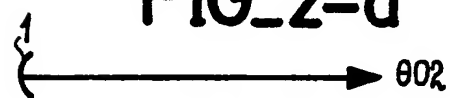
**FIG\_2-b**



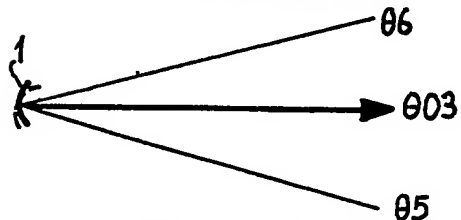
**FIG\_2-c**



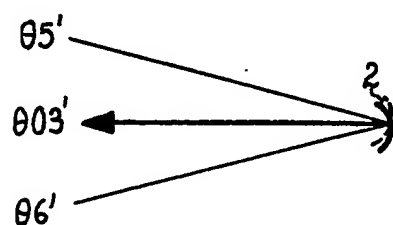
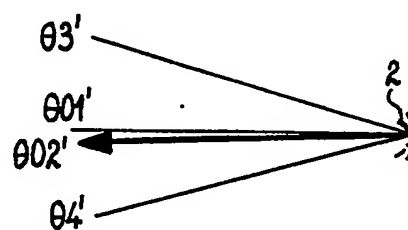
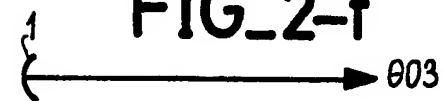
**FIG\_2-d**



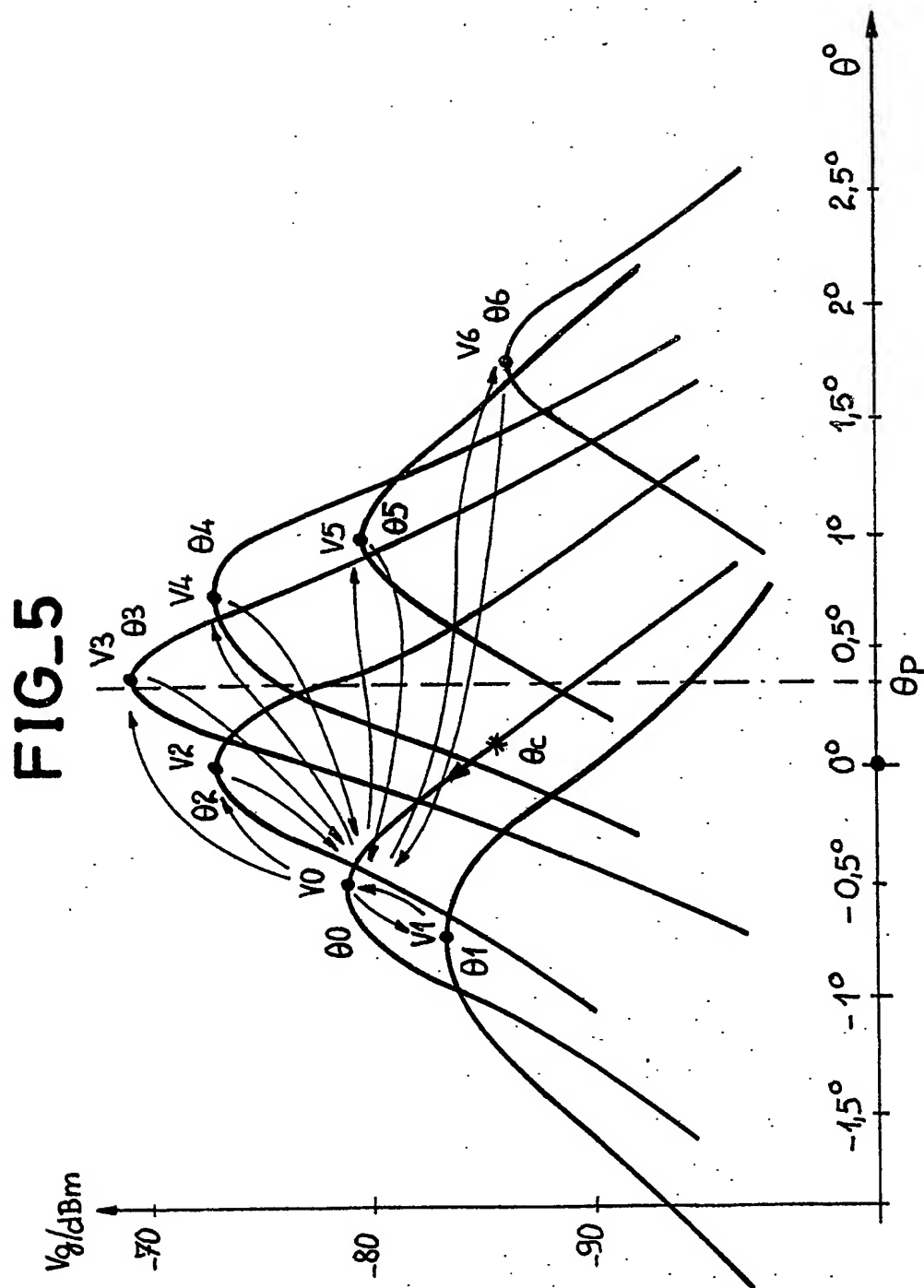
**FIG\_2-e**



**FIG\_2-f**

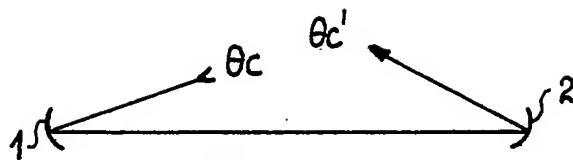


3/5

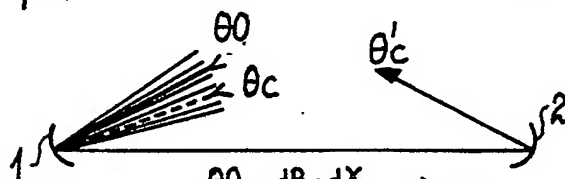


4/5

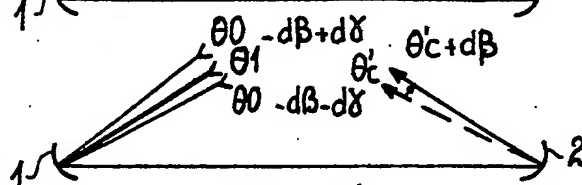
FIG\_6-a



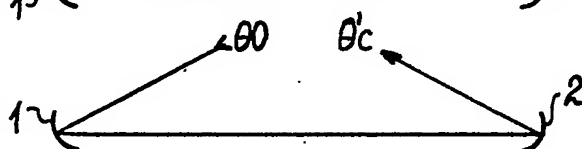
FIG\_6-b



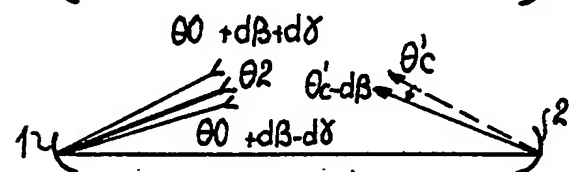
FIG\_6-c



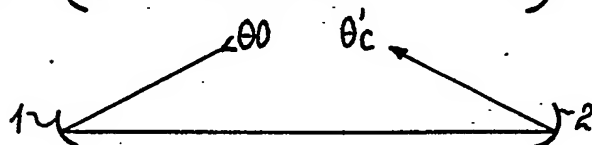
FIG\_6-d



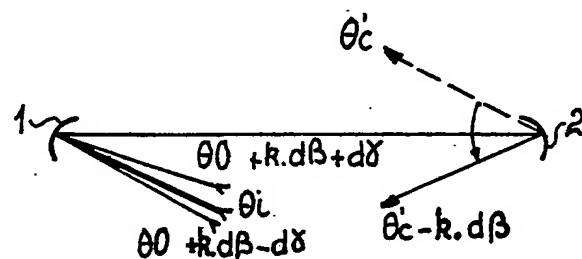
FIG\_6-e



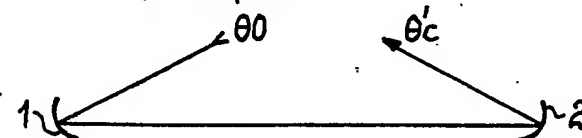
FIG\_6-f



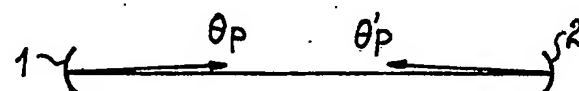
FIG\_6-g



FIG\_6-h



FIG\_6-i



5/5

FIG. 7

